

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-233523

(43)Date of publication of application : 02.09.1998

(51)Int.Cl.

H01L 31/10

(21)Application number : 09-033924

(71)Applicant : HAMAMATSU PHOTONICS KK

(22)Date of filing : 18.02.1997

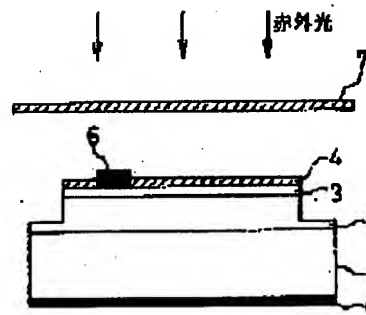
(72)Inventor : SUGA HIROBUMI
GON SHIYUUEI
MAKINO TAKAMITSU
YAMAGUCHI TOMUO

(54) PHOTODETECTOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a photodetector which, having high sensitivity in intermediate-infrared region, is easily manufactured.

SOLUTION: On an n-type InAs substrate, an InAs light-absorption layer 2 wherein Gd of 0.5-1.0mg is added into a melt 3.2g using an LPE for epitaxial growth, a window layer 3 wherein a p+ type InAs_xP_{1-x}-ySb_y whose energy band gap is larger than the light-absorption layer 2 while lattice-matched with it is epitaxially grown, and an SiN reflection preventive film 4 are laminated. An n-electrode 5 and a p-electrode 6 are provided on the backside of a substrate 1 and an incidence surface, respectively, with a sapphire window 7 provided on the front surface of incident surface. An incident infrared ray transmits the window layer 3 and then photoelectric-converted efficiently at the light absorption layer 2. Since the light absorption layer 2 is an i region, high sensitivity is provided like PIN junction.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 12.11.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 20.02.2007

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-233523

(43) 公開日 平成10年(1998) 9月2日

(51) Int.Cl.⁶

H 0 1 L 31/10

識別記号

F I

H 0 1 L 31/10

A

審査請求 未請求 請求項の数2 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平9-33924

(22) 出願日 平成9年(1997) 2月18日

(71) 出願人 000236436

浜松ホトニクス株式会社

静岡県浜松市市野町1126番地の1

(72) 発明者 菅 博文

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ
トニクス株式会社内

(72) 発明者 ▲ごん▼ 秀英

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ
トニクス株式会社内

(72) 発明者 牧野 貴光

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ
トニクス株式会社内

(74) 代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

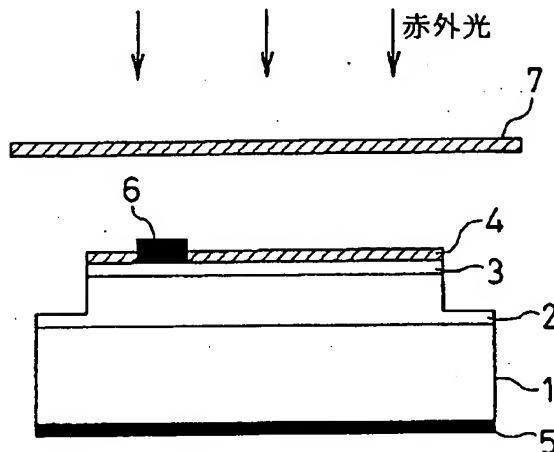
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光検出器

(57) 【要約】

【課題】 製造が容易で、中赤外領域において感度の高い光検出器を提供する。

【解決手段】 n型InAs基板上に、LPEを用いてメルト3.2g中にGdを0.5~1.0mg添加してエピタキシャル成長させたInAs光吸収層2と、光吸収層2よりエネルギーバンドギャップが大きく、これと格子整合するp+型InAs_xPi-x-ySbyをエピタキシャル成長させたウィンドウ層3と、SiNの反射防止膜4が積層されており、基板1裏面にn電極5、入射面にp電極6が設けられており、入射面の前面には、サファイア窓7が配置されている。入射した赤外線は、ウィンドウ層3を透過して、光吸収層2で効率的に光電変換される。また、光吸収層2は、i領域となるため、PIN接合同様に高感度となる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも表面がn型InAsからなる基板と、

前記基板上にエピタキシャル成長された低濃度n型ドーブのInAsからなる光吸収層と、

前記光吸収層上にエピタキシャル成長させたp型ドーブの $\text{InAs}_{1-x}\text{P}_{1-x-y}\text{Sb}_y$ ($0.42 \leq x \leq 0.84$, $0.90 < x+3.22y < 1.10$) からなるウィンドウ層と、

を備える光検出器。

【請求項2】 前記光吸収層は、成長メルト材料3.2g中に0.5~1.0mgのGdを添加して液相成長法により形成されていることを特徴とする請求項1記載の光検出器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体による光検出器であって、中赤外領域の光を検出する光検出器に関する。

【0002】

【従来の技術】2~4 μm の中赤外領域の光を検出する半導体検出器としては、InAs光起電力型検出器が知られている。これは、n型層の内部に導電性のp型不純物を熱拡散することにより、pn接合を形成するものである。光が入射されると、このpn接合部で光励起により起電力が発生する。この起電力は入射光の光強度に対応している。従来は、このpn接合を生成するためにバルク結晶やエピタキシャル結晶を用いていた。しかし、バルク結晶では純度の高い結晶が得られず、また、ホモ構造しか得られないという欠点があった。一方、エピタキシャル結晶の場合は拡散長の制御、再現が難しいという欠点があった。

【0003】これらの欠点を解決した装置として、特開昭57-197878号公報の技術（以下、従来例と呼ぶ）がある。これは、InAs等からなる光吸収層上にAlAsSb等の混晶系からなるウィンドウ層をエピタキシャル成長させたものである。この従来例の構造断面図を図8に示す。n型InAs基板1上に、n型InAsの光吸収層2と、n型 $\text{AlAs}_{0.16}\text{Pb}_{0.84}$ のウィンドウ層3をエピタキシャル成長させて、ウィンドウ層3の一部にZn等の不純物を拡散させてp型ドーブ層8を形成している。さらに、基板1とp型ドーブ層8にn電極5とp電極6が形成されている。この技術の場合は、ウィンドウ層3の結晶の形成を制御することが容易であり、さらに、ウィンドウ層3に形成されたpn接合により検出器性能も向上する。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかし、従来例で開示されているAlAsSb等の混晶系は、以下に挙げるような問題点があった。これらの混晶系は、非混晶（ミッ

シビリティギャップ）領域が広いため、混晶が不均一な組成比で形成される組成分離が起こりやすく、また、混晶を形成する材料の熱膨張係数の違いによる熱歪みが生じやすかった。このため、結晶の成長温度を高くする必要があり、不純物の不要な拡散が起こりやすかった。また、混晶系にAlを含んでいるために、ウィンドウ層表面に自然酸化膜が形成され、表面準位、表面欠陥が発生しやすい。この結果、ウィンドウ層上において表面再結合が発生して光吸収層の量子効率が低下し、感度低下が起こりやすいという欠点があった。

【0005】本発明は、製造が容易で、中赤外領域において感度の高い光検出器を提供することを課題とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明の光検出器は、少なくとも表面がn型InAsからなる基板と、この基板上にエピタキシャル成長させた低濃度n型ドーブのInAsからなる光吸収層と、この光吸収層上にエピタキシャル成長させたp型ドーブの $\text{InAs}_{1-x}\text{P}_{1-x-y}\text{Sb}_y$ ($0.42 \leq x \leq 0.84$, $0.90 < x+3.22y < 1.10$) からなるウィンドウ層と、を備えることを特徴とする。

【0007】これにより、InAs光吸収層と光吸収層よりワイドギャップの $\text{InAs}_{1-x}\text{P}_{1-x-y}\text{Sb}_y$ ウィンドウ層が格子整合し、両層の間にヘテロpn接合が形成される。そして、ウィンドウ層、光吸収層、基板がそれぞれp、i、n領域として機能するため、高感度のpin型フォトダイオードに類似した構成になる。

【0008】さらに、光吸収層は、成長メルト材料3.2g中に0.5~1.0mgのGdを添加して液相成長法により形成されていてもよい。これにより、光吸収層の成長時にGdが不純物を吸着するゲッター元素として作用する。

【0009】

【発明の実施の形態】以下、図面に基づいて本発明の一実施形態を説明する。図1は、本発明の一実施形態の断面構成図である。

【0010】まず、本実施形態の構成を説明する。n型のInAs基板1の(100)面上に厚さ約10 μm の低濃度ドーブのn型InAsの光吸収層が形成されている。その上に厚さ約1 μm のp型 $\text{InAs}_{0.42}\text{P}_{0.4}\text{Sb}_{0.18}$ ウィンドウ層3が積層されている。ウィンドウ層3の表面には、さらに、屈折率1.8、厚さ110nmのSiNからなる反射防止膜4が設けられており、これが入射面となる。基板1の入射面と反対の面には、AuGe/Au合金からなるn電極5が設けられ、入射面には、反射防止膜4の一部を除去してCr/Au合金からなるp電極6が設けられている。本実施形態では、光吸収層2の一部から反射防止膜4までの部分の周辺部分が除去されたいわゆる「メサ型」の構造になっている。入射面の前面には、入射する赤外光を透過するサファイア

窓7が設置されている。

【0011】ここで、本実施形態の光検出器の製作工程について説明する。9×11mmの基板1上に、まずLP E（液相成長法）により光吸収層2をエピタキシャル成長させる。この際に、成長メルト3、2g中に希土類であるGdを0.5～1.0mg添加したうえで初期温度600℃でエピタキシャル層を成長させる。このGdは残留不純物となるSやCを吸着するゲッター元素として作用し、結晶の純度を向上させる。その結果、基板1のn型電子濃度が $3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 程度あるのに対し、光吸収層2のn型電子濃度は 10^{15} cm^{-3} オーダー以下にまで低下し、低濃度n型ドープ層となる。したがって、光吸収層2は、n領域というよりもむしろi領域として機能し、光検出器は、高感度のpin型フォトダイオードに近い構成になっている。

【0012】光吸収層2の形成後、In(7N)、InAs、Sb(7N)、InPを原材料としてウィンドウ層3を初期温度600℃から590℃へ冷却しながらエピタキシャル成長させる。この時にp型不純物としてZnが添加されている。InAs0.42Po.4Sb0.18とInAsの格子不整合は0.01%以下と極めて小さいので、良質の結晶を形成することができる。光吸収層2及びウィンドウ層形成時の成長温度は、鏡面を得るために正確に制御する必要がある。

【0013】こうして形成した光吸収層2とウィンドウ層3からなるPN接合部をエッチング等により受光部直径が1mmのメサ型デバイスに加工した上で、反射防止膜4をプラズマCVD法によりコーティングする。その後、裏面と入射面にn電極5、p電極6をそれぞれ形成する。

【0014】続いて、本実施形態の動作について説明する。赤外光は、サファイア窓7と反射防止膜4を透過して、ウィンドウ層3に入射する。反射防止膜4は、膜厚を調整することにより、所定の光波長の表面での反射を防止することができる。波長2.5～3μmの赤外領域の光に対して無反射とするためには、膜厚を110～400nmとすることが好ましい。ウィンドウ層3はエネルギーギャップが0.64eVと大きいので、光子エネルギーがこの値を下回る波長1.9μm以上の光の吸収は起こらず、波長がこれより長い中赤外線はこのウィンドウ層3を透過して、ウィンドウ層3と活性層2の境界付近に達する。

【0015】光吸収層2のバンドギャップは0.35eVであり、光子エネルギーがこのバンドギャップより大きくなる波長約3.5μm以下の光が吸収される。ここで、前述したように、光吸収層2は、不純物濃度が低く、空乏層を含むi領域として機能する。この光吸収層2では、光吸収により電子-ホール対が発生し、電子はn型領域に、ホールはp型領域にそれぞれ向かう。従って、n電極4からp電極6に向かって入射光量に比例し

た電流が流れる。これを外部に取り出すことにより入射光量に応じた電気信号が得られる。光吸収層2内で発生した電子は、光吸収層2とウィンドウ層3の界面のヘテロ障壁を乗り越えることができないため、この界面での電子とホールの再結合が減少して、感度低下を防ぐことができる。さらに、ヘテロ界面は、前述したように格子不整合がほとんどなく、結晶的に極めて良好であるため、界面準位の発生が抑えられて、これも感度低下を防ぐことができる。

【0016】本願発明者は、本実施形態の光検出器の検出特性を従来品と比較して測定した。比較のため使用した従来品の光検出器は、米国EG&G: JUDSON社製の検出器であり、本実施形態の光検出器としては、光吸収層形成時にGdを添加したタイプ（以下、応用例1と呼ぶ）とGd未添加のタイプ（以下、応用例2と呼ぶ）の2種類を比較した。いずれも受光面積、測定波長領域は一致している。

【0017】図2は、従来品と応用例1、2の3つの光検出器について、室温（296K）における受光部の単位面積及び単位周波数帯域幅あたりの信号出力比である比検出能力D*を比較したグラフである。ここで、従来品については、カタログ記載値であり、応用例1、2はともに測定値である。応用例1、2とも約2～3.5μmの広い波長領域で波長による比検出能力の変化が少なく、しかもこの領域全体でいずれの場合も従来品より比検出能力が4～5倍高くなっている。さらに、応用例1は、応用例2よりも1.5倍程度比検出能力が高くなっている。これにより、本発明の光検出器の中赤外線領域における感度向上効果が確認された。

【0018】続いて、光吸収層形成時にGdを添加した効果について検討した結果を図3～図5を参照して説明する。図3は、応用例1、2について、室温中で単位光量の特定波長の入射光に対して発生する光電流である受光感度を比較したグラフである。図より、Gdを添加して光吸収層を成長させたタイプでは、Gd未添加のケースに比べて、受光感度は全領域で1.5倍に拡大されている。Gd添加によってPIN接合を形成したことによる感度向上の効果が確認された。

【0019】図4は、応用例1、2の室温における量子効率（入射光の光子数に対する出力電子の電子数の割合）を比較したグラフである。2～3.5μmの波長領域で、Gd未添加の応用例2では、量子効率は0.4～0.5にとどまっているが、Gdを添加することにより、量子効率は0.7～0.8に向上している。図5は、検出素子の内部量子効率が100%の場合に、サファイア窓や反射防止膜を併用することによる外部量子効率の変化を示したグラフである。図5より、サファイア窓と反射防止膜により、外部量子効率は0.6～0.8程度に減少することを示している。図4と図5から応用例1の検出素子本体の内部量子効率は、100%に近い

ことがわかる。

【0020】ここで、 InAsPSb 系の組成比は、 $\text{InAs}_{0.42}\text{P}_{0.4}\text{Sb}_{0.18}$ に限られるものではない。図6は、 $\text{InAs}_x\text{P}_{1-x-y}\text{Sb}_y$ の組成比と、バンドギャップの関係を示した図である。 InAsPSb 系では、他の混晶系に比べてミッシリリティギャップ領域が狭いため、組成分離が起こりにくい。一方、 $x < 0.42$ の領域では、結晶の成長が困難なため、 x は0.42以上とする事が好ましい。この範囲では、ミッシリリティギャップ領域から離れているため、安定した結晶が生成できる。また、光吸収層となる InAs との格子不整合はできるだけ小さいことが好ましく、具体的には0.3%以内であることが好ましい。この範囲は、図6中の破線で挟まれた領域であり、この領域中の組成を有する場合は、良質なウィンドウ層を形成することができる。この条件を式で表すと、

$$0.997a_{\text{InAs}} \leq x a_{\text{InAs}} + y a_{\text{InSb}} + (1-x-y) a_{\text{InP}}$$

$$x a_{\text{InAs}} + y a_{\text{InSb}} + (1-x-y) a_{\text{InP}} \leq 1.003 a_{\text{InAs}}$$

となる。ここで、 a_{InAs} 、 a_{InSb} 、 a_{InP} はそれぞれ InAs 、 InSb 、 InP の格子定数であり、それぞれ6.0584、6.47934、5.86875オングストロームである。これらの式を整理すると、 $0.90 < x + 3.22y < 1.10$ となる（端数処理のために不等号の種類を変更している）。このうち、 $x > 0.84$ の領域では、エネルギーギャップが小さくなって、光子エネルギーの小さい長波長側へ吸収帯が広がって、中赤外領域の光の吸収が起こるため、好ましくない。したがって、 x は0.84以下とすることが好ましい。したがって、最も好ましい組成比の範囲は、図6の破線で挟まれた領域のうちの網掛けされた領域である。

【0021】また、 Gd の添加量を増やしすぎると、 Gd 自体が光吸収層中の不純物として機能するため、好ましくない。本願発明者は、添加する Gd の適正な量を把握するため、 InAs/InAs ホモ構造において異なる Gd 添加量で光吸収層を形成させた2種類の光検出器について感度特性を比較した。その比較結果を図7に示す。成長メルト材料3.2gに対する Gd 添加量を0.7mgから1.4mgに増やすと、感度は20%ほど低

下している。したがって、 Gd の添加量としては、大きな感度低下の起こらない1mg以下が好ましい。一方、結晶成長時に Gd を確実にゲッタ元素として機能させるためには、添加量は0.5mg以上であることが好ましい。

【0022】

【発明の効果】以上、説明したように本発明によれば、 InAs 光吸収層上にこの光吸収層よりもエネルギーギャップの大きい InAsPSb 系混晶層を格子整合させてウィンドウ層として形成しているため、中赤外線は、ウィンドウ層を透過して、光吸収層で効率的に光電変換され、室温でも高感度とすることができる。さらに、ヘテロ接合を有しているため、光吸収層で発生したキャリアがウィンドウ層に移動して再結合するのを防ぎ、感度低下が起こりにくい。

【0023】また、 LPE による光吸収層形成時に成長メルトに Gd を添加することにより、光吸収層内部の不純物濃度が低下して、光吸収層を*i*領域とすることにより、 PIN 接合に類似した構造となり、入射光に対する感度が向上する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態の断面構成図である。

【図2】本発明の実施形態と従来品の比検出能力を比較したグラフである。

【図3】本発明の実施形態において Gd 添加の有無による受光感度を比較したグラフである。

【図4】本発明の実施形態において Gd 添加の有無による量子効率を比較したグラフである。

【図5】本発明の実施形態においてサファイア窓等による外部量子効率の変化を示したグラフである。

【図6】 $\text{InAs}_x\text{P}_{1-x-y}\text{Sb}_y$ の組成比と、バンドギャップの関係を示した図である。

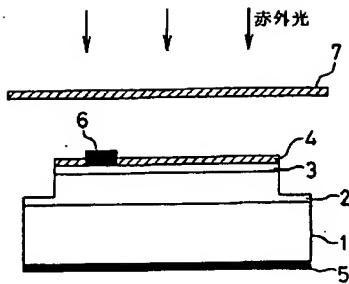
【図7】ホモ構造の検出器において Gd 添加量の違いによる感度特性の変化を比較したグラフである。

【図8】従来の中赤外領域光検出器の断面構成図である。

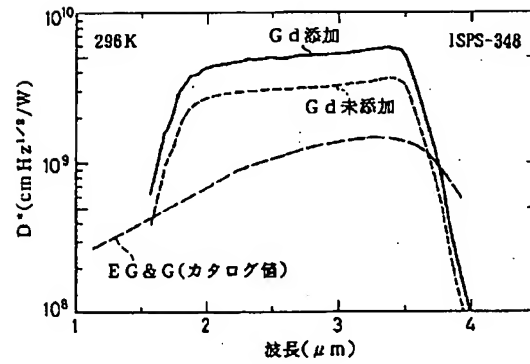
【符号の説明】

1…基板、2…光吸収層、3…ウィンドウ層、4…反射防止膜、5…*n*電極、6…*p*電極、7…サファイア窓、8…*p*型ドープ層。

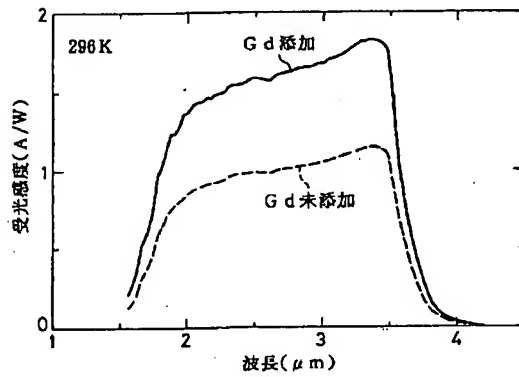
【図1】



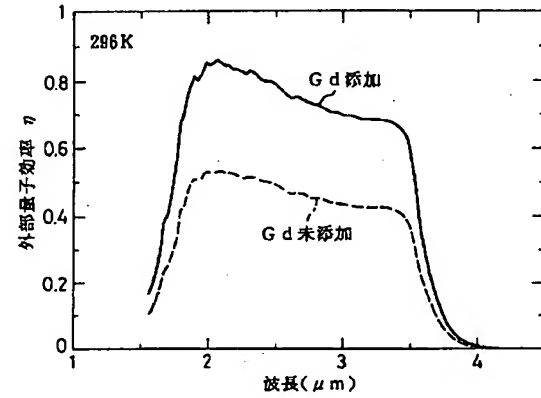
【図2】



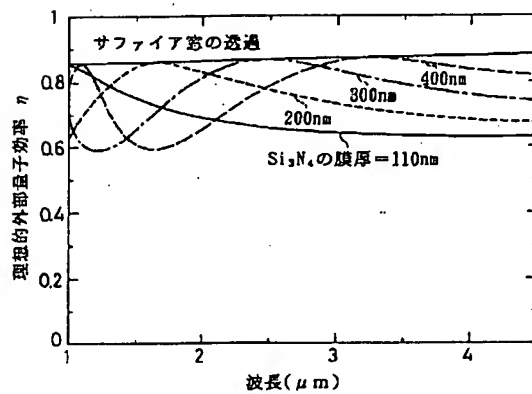
【図3】



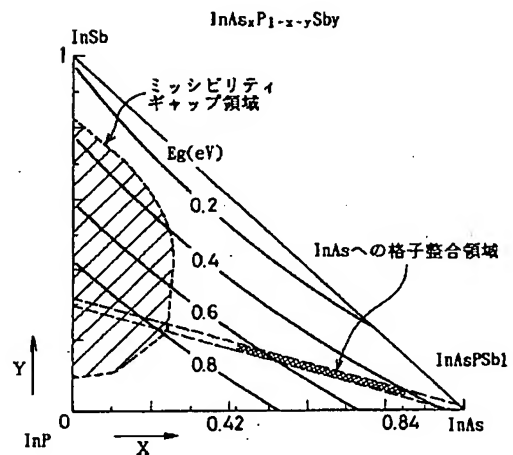
【図4】



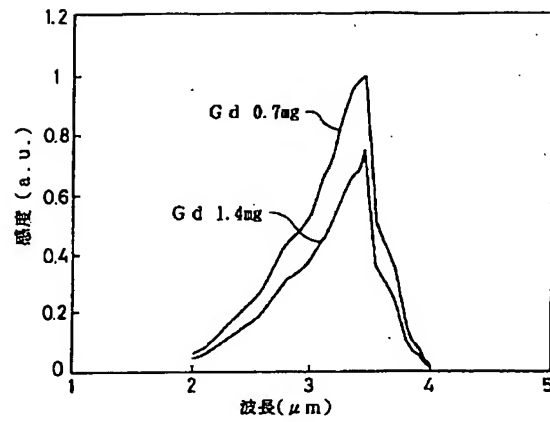
【図5】



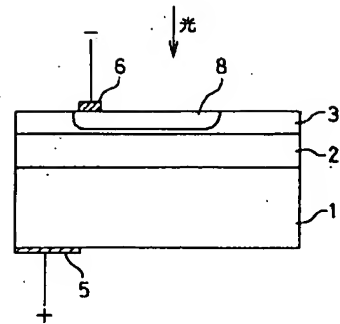
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(72) 発明者 山口 十六夫
 静岡県浜松市城北3丁目5番地の1 静岡
 大学電子工学研究所内